https://dx.doi.org/10.1544 6/caldasia.v40n2.68297
Caldasia 40(2):335-348. Julio-diciembre 2018

Atropellamientos de fauna silvestre en la red vial urbana de cinco ciudades del Valle de Aburrá (Antioquia, Colombia)

Roadkills in the urban road network of five cities in the Aburrá valley (Antioquia, Colombia)

María Margarita Bedoya-V.[1*], Andrés Arias-Alzate[2], Carlos A. Delgado-V.[3]
[1]*Universidad EAFIT, pregrado de Biología, Escuela de Ciencias, Departamento de Ciencias Biológicas, Medellín, Colombia. mbedoy14@eafit.edu.co.*
[2]*Grupo de Mastozoología, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. andresarias32@gmail.com.*
[3]*Programa de Ecología, Facultad de Ciencias y Biotecnología, Universidad CES, Medellín, Colombia. cdelgado@ces.edu.co*
**Autor para correspondencia.*

RESUMEN
En este estudio se documentan y analizan los casos de atropellamiento de fauna silvestre encontrados en el área urbana del Valle de Aburrá comprendida por los municipios metropolitanos de Bello, Medellín, Itagüí, Envigado y Caldas, con el objetivo de conocer las especies más afectadas, la efectividad de las señales preventivas instaladas y las variables que pueden tener influencia sobre este fenómeno. Se analizaron datos colectados de manera aleatoria con el aplicativo TAyRA, junto con datos obtenidos por el monitoreo periódico por dos vías principales del valle. Se encontró que los animales más afectados son las aves y los mamíferos, y que el límite de velocidad, el ancho de la vía y la distancia a las zonas verdes son factores de influencia. Adicionalmente se calculó una tasa de atropellamiento aproximada de 0,2 ind/km de vía urbana/semana. Se sugiere la ubicación de señales de tránsito para la prevención de atropellamiento de fauna y disminuir los impactos que las vías tienen en la fauna silvestre urbana.

Palabras clave. Carreteras, colisión, Colombia, ecología urbana, fauna silvestre, mitigación.

ABSTRACT
This study documents and analyzes the cases of wildlife roadkill found in the urban area of the Aburrá Valley comprised by the metropolitan municipalities of Bello, Medellín, Itagüí, Envigado, and Caldas, with the aim of knowing the most affected species, the effectiveness of the preventive signals installed, and the variables that may influence this phenomenon. The data collected was randomly collected with TAyRA app, along with data obtained by periodic monitoring through two main roads in the area. We found that the animals most affected are birds and mammals, and that the speed limit, along with the width of the road and the distance to the green areas are factors of influence. Additionally, an approximate traffic rate of 0.2 ind / km of urban road / week was calculated. The location of traffic signals is suggested for the prevention of roadkill and the decrease of the impacts that the roads have on urban wildlife.

Key words. Colombia, collision, roads, wildlife, mitigation, urban ecology.

INTRODUCCIÓN

La urbanización es un fenómeno global creciente que puede llevar a la pérdida de biodiversidad (Murray y St. Clair 2015). Algunas de las perturbaciones que ocasionan defaunación urbana pueden ser generadas por la fragmentación del hábitat natural, el aumento de la explotación de recursos naturales, el atropellamiento de fauna silvestre, la pérdida de poblaciones naturales y el deterioro ecosistémico (Forman y Alexander 1998, Forman *et al.* 2003, Benítez-López *et al.* 2010, van der Grift *et al.* 2013, D'Amico *et al.* 2015).

El desarrollo de las infraestructuras lineales (e.g. carreteras) es uno de los factores que afecta la supervivencia de la fauna, debido a que, o representan una barrera que impide el movimiento de algunas especies, o incrementa la probabilidad de muertes por colisiones con vehículos (Didham *et al.* 1996, Forman y Alexander 1998, Bhattacharya *et al.* 2003, van der Ree 2009). Otros factores derivados de las carreteras son la contaminación sonora, lumínica y la polución (Laurance *et al.* 2009). Finalmente, las vías afectan la hidrología y pueden ser un factor de erosión o sedimentación (Laurance *et al.* 2009, van der Ree 2009), interrumpen regímenes de perturbación naturales como los incendios forestales y crean efecto de borde, incrementando la temperatura dentro de los parches verdes, lo que puede modificar aún más la dinámica ecológica de las zonas circundantes (Laurance *et al.* 2009).

Aunque existen algunos avances en el conocimiento en la región neotropical sobre el efecto de las carreteras en la biodiversidad, las zonas urbanas latinoamericanas carecen de estudios de ecología de carreteras (Santiago-Alarcón y Delgado-V 2017). En Colombia se han desarrollado pocos estudios, y estos han sido realizados principalmente en ecosistemas rurales y peri-urbanos (Delgado-V 2007a, 2014, Vargas-Salinas *et al.* 2011, Vargas-Salinas y López-Aranda 2012, Quintero-Ángel *et al.* 2012, De La Ossa-V y Galván-Guevara 2015). A nivel urbano, el estudio de las vías como potencial fuente de mortalidad por atropellamiento de fauna silvestre han recibido poca atención.

Aunque hay altas frecuencias de atropellamientos en sectores periurbanos, rurales y naturales del valle de Aburrá (i.e. Medellín y las ciudades aledañas) (Delgado-V 2007a, 2014), actualmente se desconoce en su totalidad la magnitud del atropellamiento de fauna en el área urbana. Por consiguiente, no hay evidencias concretas que documenten cuáles son las especies afectadas, dónde ocurren las colisiones y cuáles factores podrían estar involucrados con mayor protagonismo en esta problemática.

Se documentó el atropellamiento de la fauna silvestre por automóviles en vías urbanas y se analizaron algunos de los factores potencialmente asociados a esta problemática. Particularmente se evaluó: 1) si a velocidades máximas permitidas de las vías (≥ 60 km/h) existe una mayor probabilidad de atropellamiento, 2) si en las vías más amplias ocurre un mayor número de atropellamientos, 3) si las vías cercanas a zonas verdes presentan mayor cantidad de atropellamientos, 4) si la cantidad de autos en circulación por comuna/barrio influyen en la probabilidad de atropellamiento, y 5) si son congruentes las medidas de mitigación hasta ahora propuestas en Medellín, como las señalizaciones de tránsito, con las zonas de mayor incidencia de atropellamientos. De esta forma, esperamos contribuir al entendimiento del fenómeno de atropellamientos de fauna silvestre en contextos urbanos y así ayudar a prevenir y mitigar esta problemática en una de las ciudades más biodiversas de Colombia (Delgado-V y Correa-H 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Valle de Aburrá está ubicado al centro-sur del departamento de Antioquia, en medio de la Cordillera Central de los Andes (Colombia) (6°15'0,622" Norte, 75°34'13,718" Oeste). Este valle tiene aproximadamente 60 km de longitud, es atravesado por el Río Aburrá, que desemboca luego en el Río Cauca con el nombre de Río Nechí; el ancho promedio del valle es de 30 km, aunque sus partes más anchas alcanzan 90 km. Éste se enmarca en una topografía irregular y pendiente con altitudes que van desde los 1300 a los 3050 m. En su territorio se encuentran ubicados, de norte a sur, los municipios de: Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas (Área Metropolitana del Valle de Aburrá c2017).

Registro de Atropellamientos

Los registros de atropellamientos de fauna se obtuvieron del aplicativo TAyRA (Transporte, Animales y Registro de Atropellamientos), desarrollada por el proyecto Aburrá Natural www.aburranatural.org. En esta aplicación se puede reportar el atropellamiento de fauna desde cualquier lugar con acceso a cobertura de red. De estos se tomaron sólo los datos del área urbana del Valle de Aburrá. Los datos de TAyRA se recopilaron desde el segundo semestre de 2015 hasta el mismo periodo del año 2017.

Adicionalmente, se realizó un muestreo sistemático por el corredor vial del río Aburrá, ruta que atraviesa el valle por los municipios de Bello, Medellín, Envigado e Itagüí, los domingos cada 15 a 20 días en bicicleta aprovechando la ciclovía recreativa. La velocidad promedio fue de 5 km/h; estos recorridos fueron realizados por la autora principal. El cierre de esta vía al tránsito vehicular facilita el muestreo, ya que durante la semana se presenta un alto flujo vehicular. En bicicleta, además, se tiene una buena visibilidad a ambos lados de la vía. Para cada individuo se registró fecha, barrio, comuna y municipio, teniendo en cuenta la división administrativa del Valle de Aburrá, así como las coordenadas geográficas. Los animales encontrados se fotografiaron para posterior identificación visual y se retiraron de la vía para evitar reconteo. En total se realizaron 17 recorridos por el corredor del río y la ciclovía de la avenida El Poblado entre marzo y mayo de 2016, y de febrero a agosto de 2017; para un total de 292 km muestreados

Factores relacionados con las Colisiones

Además de la determinación taxonómica del animal muerto, se determinó el ancho de la vía (en metros), la velocidad teórica de la vía (es decir a la velocidad máxima permitida a la que se debe circular por normativa; en km/h), la distancia al centro de la zona verde más cercana al atropellamiento (en metros y utilizando las herramientas de medida en Google Earth Pro©); y la cantidad promedio de automóviles presentes en estas zonas con base en los datos de AMVDA (2012). La velocidad teórica de las vías se tomó de la clasificación de vías que hace la Secretaría de Transito de Medellín y la cantidad de automóviles de la información del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Los demás factores fueron mediciones obtenidas por los autores. Es importante aclarar que el valor de automóviles presentados es un estimado, ya que el reporte de AMVDA (2012) excluye otros medios de transporte como motocicletas, buses y unidades móviles de transporte de carga pesada. Con relación a la velocidad, el Valle de Aburrá se encuentra clasificado en varios niveles: vías con zonas escolares (max.30 km/h), vías con zonas residenciales (max.40 km/h); vías arterias, principales o avenidas (max. 60 km/h); metrovías y viaducto del metro (max. 80 m/h); corredores de transporte

público (max. 60 km/h); sistema vial del Río (max. 60 km/h); Avenida Regional (max. 80 km/h); Autopista Norte (max.80 km/h y 60 km/h dependiendo del tramo); y vías sin señalización específica donde por defecto debe circularse máximo a 40 km/h.

Análisis de Datos

Tasa de atropellamiento

La tasa de atropellamiento se calculó dividiendo el número de atropellamientos encontrados en el corredor del río y la ciclovía de la Av. El Poblado. Es decir, se calculó la cantidad promedio de atropellamientos por kilómetro de vía urbana registrados por semana (ind/Km/semana) (Baxter-Gilbert *et al*. 2015).

Análisis de agrupamiento espacial y de puntos calientes o "*hotspots*"

Se realizaron dos aproximaciones a nivel espacial para identificar posibles patrones de atropellamiento. Primero se realizó una transformación del número de registros por medio de un análisis de densidad de Kernel para identificar las áreas de mayor concentración de atropellamientos en la zona de estudio. Para ello se seleccionaron tres tipos de ancho de banda (500 m^2, 750 m^2 y 1000 m^2) de acuerdo con la configuración espacial de los registros, la escala del área de estudio y la ecología de los grupos taxonómicos registrados. Posteriormente, para evaluar si estas zonas de mayor concentración de puntos representan zonas críticas de atropellamientos y si las variables seleccionadas se encuentran asociadas a esta problemática, se creó una gratícula, o cuadrícula geográfica de referencia, de 500 m^2 de resolución como campo de análisis, y por medio de un análisis de sobreposición, se estimó el número de atropellamientos asociados por cada cuadrante.

A continuación, se realizó un análisis de estadística espacial por medio de una aproximación de puntos calientes (*hotspot analysis*) usando el estadístico Getis-Ord Gi*. Esta prueba permite identificar agrupaciones significativas de valores altos, o puntos calientes, y valores bajos, o puntos fríos. Esta significancia indica si el agrupamiento espacial de valores calientes o fríos observados es más marcado de lo que se espera en una distribución aleatoria. El análisis por defecto arroja una puntuación Z, un valor p y tres niveles de confianza (Gi_Bin) a una desviación (90 % nivel de confianza), a dos desviaciones (95 % nivel de confianza) y a tres desviaciones (99 % nivel de confianza) identificando así los puntos calientes y puntos fríos estadísticamente significativos. Este análisis se realizó para cada una de las variables anteriormente descritas mediante el uso de la herramienta análisis de estadística espacial y mapeo de agrupamiento utilizando el software ArcGIS 10.1 (ESRI 2013).

Evaluación de las medidas de mitigación

Para evaluar si las medidas de mitigación empleadas por la Secretaría de Transito y el Área Metropolitana son aplicadas donde hay mayores problemas de atropellamiento se realizó un análisis de sobreposición de la gratícula anteriormente mencionada con los datos de atropellamientos y con la base de datos de las señales de tránsito registradas en el área de estudio. Posteriormente se creó una matriz de 2 x 2 (cuadrantes-atropellamientos (no, sí) X cuadrantes-señales (no, sí)) para identificar el número total de cuadrantes con y sin atropellamientos y señales (i.e. el número de cuadrantes sin atropellamientos y sin señales; el número total de cuadrantes con atropellamientos y sin señales; el número total de cuadrantes sin atropellamientos y con señales y el número total de cuadrantes con atropellamientos y con señales). Con estos datos posteriormente se estimó el coeficiente Kappa de Cohen para evaluar estadísticamente si las decisiones de ubicación de las señales de tránsito para la reducción de atropellamientos de fauna silvestre fueron generadas al azar. Todos los análisis espaciales se desarrollaron utilizando el software ArcGIS 10.1 (ESRI 2013).

RESULTADOS

En total se obtuvieron 283 registros de atropellamientos (Tabla 1), sin contar los aproximadamente 900 registros adicionales correspondientes a la polilla migratoria *Urania fulgens*, los cuales se dieron durante su época de migración en 2016. Se recopilaron 66 registros de colisiones por la vía Regional y la ciclovía que recorre la Av. El Poblado. El resto de los registros se obtuvo en la aplicación mencionada. La cantidad total de registros de aves atropelladas fue de 184 individuos, seguido por 82 individuos de mamíferos, 15 de insectos y dos de reptiles. Los vertebrados con el mayor número de individuos que colisionaron con autos fueron *Turdus ignobilis* (25), *Rattus* sp (18), *Didelphis marsupialis* (14), *Sciurus granatensis* (13) y *Zenaida auriculata* (10). No obstante, el número de aves sin identificar fue mayor (97 colisiones: Tabla 1).

Las colisiones con aves tienen una distribución uniforme a lo largo del eje de la vía Regional, con aumentos en la parte occidental de la ciudad, en la zona correspondiente a Laureles-Estadio y en la zona sur, en El Poblado (Fig. 1). Los mamíferos también presentan una distribución de atropellamientos amplia, aunque hay una mayor concentración en la zona suroriental, correspondiente a El Poblado y Envigado. En total se identificaron 32 especies, aunque para algunos registros no fue posible la identificación hasta familia, orden o especie (Tabla 1). Los animales registrados fueron, en su mayoría, silvestres (90,8 %). Del monitoreo sistemático en el corredor del río y la ciclovía de la Av. El Poblado, se calculó una tasa de atropellamiento para la red vial urbana del Valle de Aburrá de 0,21 individuos/km/semana para la vía Regional y de 0,18 individuos/km/semana para la Av. El Poblado.

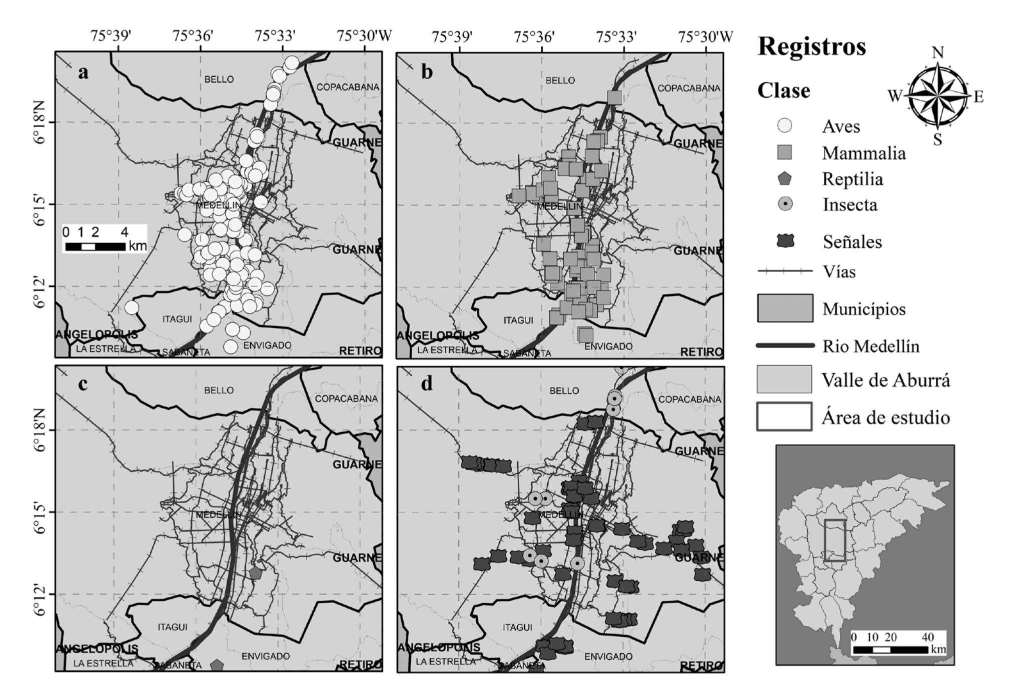


Figura 1. Distribución geográfica de los atropellamientos de fauna silvestre entre 2016 y 2017 registrados en el Valle de Aburrá para cada uno de los organismos encontrados. También se sitúan las señales de tránsito ubicadas previas al estudio en la zona, particularmente en la ciudad de Medellín.

Tabla 1. Especies atropelladas en la red vial del Valle de Aburrá. Se presenta el total de colisiones por especie y por taxón superior. Se muestra el porcentaje que representan las especies en el total de los atropellamientos (n = 283).

Taxón/Familia	Especie	Número de colisiones	Porcentaje (%)
Aves		184	**65**
NA	Ave NI	97	34,3
Turdidae	*Turdus ignobilis* (Sclater, 1857)	25	8,8
Columbidae	*Zenaida auriculata* (Des Murs, 1847)	10	3,5
	Columbidae sp	7	2,5
	Columba livia (Gmelin, 1789)	6	2,1
	Columbina talpacoti (Temminck, 1810)	6	2,1
Thraupidae	*Sicalis flaveola* (Linnaeus, 1766)	8	2,8
	Thraupis episcopus (Linneo, 1766)	5	1,7
	Saltator sp	1	0,3
	Thraupis palmarum (Wied, 1821)	4	1,4
Trochilidae	*Anthracothorax nigricollis* (Vieillot, 1817)	3	1,1
Strigidae	*Megascops choliba* (Vieillot, 1817)	3	1,1
Psittacidae	*Brotogeris jugularis* (Müller, 1776)	2	0,7
Cathartidae	*Coragyps atratus* (Bechstein, 1793)	2	0,7
Troglodytidae	*Troglodytes aedon* (Vieillot, 1809)	2	0,7
Momotidae	*Momotus aequatorialis* (Gould, 1858)	1	0,3
Cracidae	*Ortalis columbiana* (Hellmayr, 1906)	1	0,3
NA	Colibrí NI	1	0,3
Mammalia		82	**28,9**
Canidae	*Cerdocyon thous* (Linnaeus, 1766)	2	0,7
Mustelidae	*Mustela frenata* (Lichtenstein, 1831)	5	1,7
Muridae	*Rattus* sp	18	6,4
	Rattus rattus (Linnaeus, 1758)	4	1,4
	Rattus norvegicus (Berkenhout, 1769)	1	0,3
Didelphidae	*Didelphis marsupialis* (Linnaeus, 1758)	14	4,9
Sciuridae	*Sciurus granatensis* (Humboldt, 1811)	13	4,6
	Sciurus sp.	1	0,3

(*Continúa*)

Tabla 1. Especies atropelladas en la red vial del Valle de Aburrá. Se presenta el total de colisiones por especie y por taxón superior. Se muestra el porcentaje que representan las especies en el total de los atropellamientos (n = 283). (*continuación*)

Taxón/Familia	Especie	Número de colisiones	Porcentaje (%)
Phyllostomidae	*Artibeus* sp	5	1,7
	Carollia sp	3	1
	Chiroptera NI	3	1
NA	Murciélago NI	3	1
NA	Mamífero NI	10	3,5
Insecta		16	**5,6**
Membracidae	*Umbonia crassicornis* (Amyot & Serville, 1843)	7	2,5
Uraniidae	*Urania fulgens* (Walker, 1854)	7	2,5
NA	Orthoptera sp	1	0,3
Reptilia		2	**0,7**
NA	Reptil NI	1	0,3
NA	Colubridae NI	1	0,3

Distribución espacial de las colisiones

El incremento en la cantidad de autos estuvo relacionado con la cantidad de atropellamientos (F = 3,95, df = 13, *P* < 0,01, Fig. 2a). Según la clasificación de las vías, no existe una diferencia significativa en relación de la velocidad permitida con los atropellamientos (F = 1,41, df = 4, *P* > 0,05) (Fig. 2b). Se encontraron registros en once comunas de la ciudad de Medellín (Aranjuez, Castilla, El Poblado, Guayabal, La América, La Candelaria, Laureles-Estadio, Robledo, San Antonio de Prado, San Javier y La Floresta) y cuatro municipios adicionales (Envigado, Itagüí, Caldas y Bello). El número de atropellamientos entre comunas varía significativamente (F = 6,40, df = 16, *P* < 0,01). Particularmente hay diferencias entre las comunas Laureles-Estadio, El Poblado, y Belén con 57, 49 y 40 registros respectivamente; frente a las localidades de San Javier, municipio de Caldas y Niquía con uno, dos y dos registros respectivamente (Fig. 2c).

Por su parte, el ancho de la vía es un factor relacionado con las colisiones de fauna (F = 7,57, df = 8, *P* < 0,01), donde el 63,2 % de las colisiones se encuentran en zonas con una amplitud entre 5 y 15 m (Fig. 3a). Asimismo, la distancia al centro de la zona verde más cercana es un factor significativo (F = 5,9, df = 15, *P* < 0,01). Se encontró una influencia de la distancia hasta los aproximadamente 275m entre la vía y la zona verde (Fig. 3b), con mayor cantidad de atropellamientos (57 individuos) a una distancia promedio de 125 m y una consecuente disminución a partir de los 400 m de distancia.

Agrupamiento espacial y de puntos calientes

A partir de los Kernel de densidad y los tres tipos de ancho de banda implementados se identificaron algunas áreas con una tendencia a mayor concentración de atropellamientos.

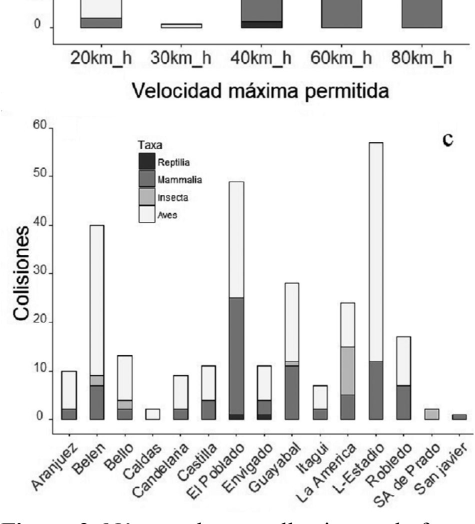


Figura 2. Número de atropellamientos de fauna silvestre en el área urbana del Valle de Aburrá (Antioquia) en relación con: **a.** cantidad de autos; **b**. velocidad máxima permitida; **c**. Comuna o Municipio (división administrativa del territorio).

Figura 3. Histograma de frecuencias de atropellamiento de fauna silvestre en el área urbana del Valle de Aburrá (Antioquia) relacionados con: **a.** ancho de la vía donde fue registrada la colisión; **b.** distancia a la zona verde más cercana al lugar del atropellamiento.

La posición de las áreas de mayor densidad no varía al incrementar el ancho de banda (Fig. 4). Estas zonas se encuentran ubicadas principalmente sobre la vía Regional al norte, entre los municipios de Medellín y Bello, en la parte central del municipio de Medellín a la altura de la Universidad Nacional. Asimismo, se observa un área en la parte occidental de Medellín y un agrupamiento menor en el suroriente, zona correspondiente a El Poblado en límites con el municipio de Envigado.

Por su parte, el análisis de puntos calientes mostró patrones similares, aunque mucho más marcados y significativos (Fig. 5). Espacialmente, en el sur del valle los cuatro

factores evaluados presentan puntos calientes ($P < 0,01$), principalmente desde Itagüí hasta aproximadamente el barrio San Diego de Medellín, abarcando la parte oriental de la comuna El Poblado de la misma ciudad y en límites con Envigado. Igualmente, hacia el norte, los factores: ancho de la vía y velocidad teórica presentan puntos calientes, principalmente en límites con el municipio de Bello y en la zona central-norte a la altura de la Universidad Nacional. Las velocidades de estas áreas van desde los 60 km/h (77 individuos atropellados: 27,2 %) a 80 km/h (74 individuos atropellados: 26,1 %) para el caso de la distancia al centro de las zonas verdes, la distancia a la zona más cercana va de los 42,4 m hasta los 813 m.

Se observan zonas con un menor número de atropellamientos o puntos fríos ("*coldspots*") ($P < 0,01$). Estos están ubicados principalmente en la zona occidental del valle, desde la comuna Guayabal y Belén, hasta Laureles-Estadio, la América y la Floresta (Fig. 5) y en la zona central-norte a la altura de la Universidad Nacional hacia los límites con Bello. También se observa un área fría al sur, en la zona de Guayabal en límites con Itagüí (Fig. 5d). Estas zonas, en general, tienen demarcadas velocidades máximas permitidas de 40 km/h, donde ocurren el 38,9 % de las colisiones (110 individuos atropellados).

Evaluación de las medidas de mitigación

Se encontraron un total de 75 señalizaciones de tránsito puestas, previas a este estudio, por las autoridades de la ciudad. De las siluetas implementadas en estas señales se encuentran la ardilla, el armadillo y la iguana como señales de fauna silvestre y el caballo, el perro y la vaca como señales de fauna doméstica. Las señalizaciones no coinciden con los puntos de colisión encontrados ni con

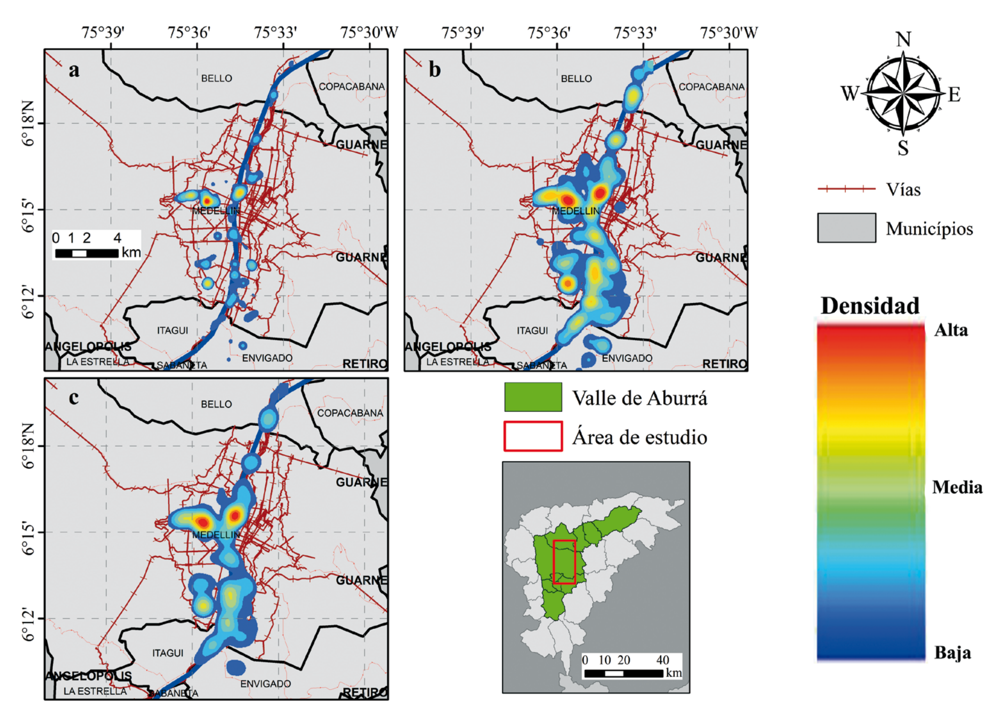


Figura 4. Análisis de densidad de Kernel para identificación de las zonas de mayor concentración de atropellamientos de fauna silvestre en el área urbana del Valle de Aburrá. Los anchos de banda para el cálculo de densidad varían entre **a**. 500 m^2, **b.** 750 m^2 y **c**. 1000 m^2.

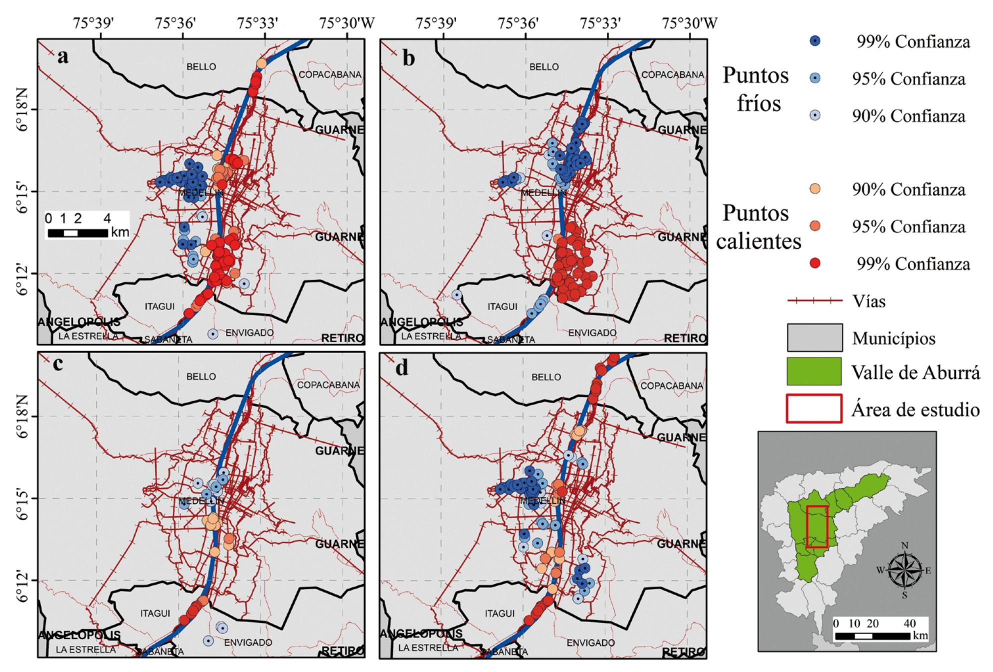


Figura 5. Análisis de puntos calientes y fríos de los factores en relación con los atropellamientos de fauna en el área urbana del Valle de Aburrá. **a.** Ancho de la vía (punto frío = [5,5 – 13,2 m], punto caliente= [18,61 – 43,4 m]); **b**. Número de autos (punto frío = [4180 – 8580], punto caliente = [52 800]); **c.** Distancia al centro de la zona verde más cercana (punto frío = [41,46 – 646,47 m], punto caliente = [42,43 – 813,07 m]); **d.** Velocidad máxima permitida de la vía (punto frío = [40 – 60 km/h], punto caliente = [80 km/h]).

los puntos calientes o fríos, área de menor incidencia de atropellamientos (Kappa = 0,063, Fig. 1).

DISCUSIÓN

Grupos y especies afectadas

Se encontró que las aves son el grupo más afectado por atropellamientos en la zona urbana estudiada. Aunque hay un gran porcentaje de especies sin identificar, debido al desgaste de los cadáveres por el constante tránsito de los vehículos sobre estos, se determinó que las especies más atropelladas fueron el mayo (*Turdus ignobilis*) y la torcaza (*Zenaida auriculata*). Ambas especies tienen estatus de conservación de preocupación menor, se considera que sus poblaciones están estables (BirdLife International c2016a, b) y son especies consideradas comunes y de amplia distribución en Medellín, situaciones que podrían explicar por qué son atropelladas frecuentemente. Los hábitos alimenticios y de vuelo también pueden explicar por qué otras especies como el currucutú (*Megascops choliba*, especie nocturna y que depreda insectos terrestres (Delgado-V 2007b) podría ser vulnerable al atropellamiento. No se debe ignorar la presión potencial que el problema del transporte motorizado y la movilidad puedan generar en otras especies (e.g. en el Cucarachero, *Troglodytes aedon* (Vieillot, 1809), o en el barranquero *Momotus aequatorialis* (Gould, 1858)) aunque su estado de conservación no sea crítico.

El segundo grupo con mayor número de atropellamientos es el de los mamíferos, donde *Rattus* sp, *Didelphis marsupialis* y

Sciurus granatensis son las especies más afectadas (Tabla 1). En investigaciones anteriores para estudios en áreas rurales o protegidas se ha reportado el alto número de colisiones de *D. marsupialis* (Omena-Junior *et al*. 2012, Puc-Sánchez *et al*. 2013, De La Ossa-V *et al*. 2015), incluso cerca de Medellín (Delgado-V 2007a). En contraste con este estudio, en la zona urbana los mamíferos más atropellados son las ratas. Esto podría deberse a la abundancia de estos organismos en la ciudad. Aunque las especies con mayor número de registros en esta clase no cuentan con ninguna categoría de amenaza significativa (IUCN c2016), es importante no ignorar esta problemática debido al riesgo potencial local que podría representar para las poblaciones de pequeños y medianos carnívoros como la comadreja (*Mustela frenata*). Se destaca el registro de murciélagos muertos por colisiones. Es la primera vez que se reporta atropellamientos de estos mamíferos en el departamento de Antioquia (Delgado-V 2007b, 2014).

El alto número de polillas *Urania fulgens* que se encontraron atropelladas en este estudio sugiere una alta mortalidad para esta especie en su migración por la extensa red vial que encuentran a su paso (Quinn c2017). En Belice se reportan docenas de especímenes muertos en las vías (Calhoun 2004). El actual reporte parece ser el primer registro de mortalidad por atropellamiento de *Urania fulgens* para Colombia.

Tasa de atropellamiento para la vía urbana

La tasa de atropellamiento es una variable que permite medir los eventos de atropellamientos. Ésta puede indicar cómo se desarrolla tal acontecimiento en la red vial estudiada, así como hacer extrapolaciones para calcular el número total de organismos atropellados en la red vial, sin necesidad de ser monitoreada en su totalidad (Monroy *et al*. 2015). La tasa de atropellamiento aproximada para la ciudad es de 0,2 individuos por cada kilómetro de vía urbana a la semana. Si para la zona urbana del Valle de Aburrá hay aproximadamente 333,308 Km de vías, se estima que, cerca de 33 animales por semana, mueren por colisiones con vehículos en la zona urbana de los cinco municipios del Valle de Aburrá. Estudios con una mayor periodicidad podrán determinar en el futuro si esta estimación es correcta.

Factores de influencia

La alta velocidad es a menudo considerada como una de las causas principales de las colisiones con fauna silvestre (Pojar *et al*. 1975, Case 1978). Aunque en este estudio se planteó la hipótesis inicial que a velocidades mayores existe una mayor probabilidad de atropellamiento, se encontró por el contrario que, en el contexto urbano hay un mayor número de registros en vías con velocidades máximas de 40 km/h. Esto puede deberse a que la mayoría de las vías con velocidades bajas están ubicadas en los barrios residenciales, donde hay mayor densidad de este tipo de vías y alto flujo vehicular, convirtiéndose en un factor significativo en la mortalidad de la fauna (Baker *et al*. 2007, van Langevelde *et al*. 2009). Otra causa posible, pero no medida en este trabajo, es que las velocidades permitidas estén siendo excedidas por los automotores lo que imprimiría más vulnerabilidad a las especies que cruzan las vías en estas áreas.

Al igual que lo planteado en la literatura, la cantidad de autos en circulación por comuna/barrio influye en la probabilidad de atropellamiento (Fahrig *et al*. 1995, Arroyave *et al*. 2006, Riley *et al*. 2014), esto significa que a medida que aumenta la cantidad de autos es más probable que ocurra una colisión. Explicando por qué la zona con mayor cantidad de autos registrados en Medellín es, a su vez, la zona donde más

mamíferos mueren por atropellamiento y una zona caliente de atropellamiento de fauna en general (Fig. 5).

Los atropellamientos se concentran en las vías con anchuras entre los 5 y 15 m; contrario a la hipótesis inicial donde se planteaba que el mayor número de atropellamientos se concentraría en las vías más amplias. Goosem (2007) menciona, paradójicamente, que los caminos forestales estrechos facilitan el movimiento de los animales al cruzar el camino, pero también llevan a más muertes por atropellamiento, situación que puede explicar lo que sucede con las vías angostas del área urbana del Valle de Aburrá.

La distancia a las zonas verdes se ha tomado como un acercamiento para entender cómo la cobertura vegetal puede tener efecto en los atropellamientos. En este estudio, se encontró que la presencia de vías en las inmediaciones de los parques aumenta la posibilidad de colisiones con fauna, teniendo mayor influencia cuando las distancias son cercanas a los 250 m, o menores, y disminuyendo a medida que las vías se hacen más lejanas a las zonas verdes. Esto puede explicarse por el hecho de que estas zonas son el hábitat o sitio de tránsito de los animales.

Medidas de mitigación y colisiones

Aunque autores como Huijser y McGowen (2010) y Meyer (2006) advierten la inefectividad a largo plazo de las señales de tránsito, otros estudios sugieren que estas son una medida de mitigación y prevención de las muertes por atropellamiento de la fauna silvestre (Gunther *et al*. 2001, Laurance *et al*. 2009, Puc-Sanchez *et al*. 2013, Castillo-R *et al*. 2015). En la actualidad, no es posible determinar tal efectividad en Medellín pues las señales de tránsito no concuerdan con las colisiones encontradas en este estudio.
La presente ha sido una investigación inicial de los efectos de las vías en atropellamientos de animales en zonas urbanas, área poco explorada en la ecología de carreteras a nivel mundial (van der Ree 2009, Riley *et al*. 2014). Así como lo plantea Arroyave *et al*. (2006) para vías en zonas no urbanas, el ancho de la vía, el flujo vehicular, la cobertura vegetal y la velocidad de los automotores son factores de influencia e importancia en los atropellamientos de fauna silvestre. Para ahondar en tales efectos y determinar con mayor precisión aquellos factores que influyen en las colisiones, se debería tener en cuenta, por ejemplo, la realización de un diseño experimental más amplio, tanto temporal como geográfico que ayude a determinar si los resultados obtenidos en esta investigación es una generalidad en otros entornos urbanos.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

MMBV recopiló, filtró y curó las colisiones de la plataforma TAyRA, diseño y realizó el trabajo de campo, analizó los resultados y escribió el manuscrito, el cual hace parte de su trabajo de grado en la Universidad EAFIT; AAA colaboró en el análisis espacial, escribió y editó el texto; CADV sirvió de tutor en el trabajo de MMBV, recopiló observaciones de colisiones, colaboró en el análisis y revisó y editó los análisis y texto final.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

AGRADECIMIENTOS

A quienes contribuyeron con observaciones de colisiones en la aplicación TAyRA. A la Secretaría de Tránsito de Medellín que compartió la ubicación de las señalizaciones

de advertencia en la ciudad. A las personas que hicieron de apoyo en el recorrido en bicicleta. A tres evaluadores anónimos que nos ayudaron a mejorar ostensiblemente el manuscrito.

LITERATURA CITADA

[AMVDA] Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2012. Encuesta de origen y destino de hogares Medellín. Medellín, Colombia: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. c2017. Mapa municipios Valle de Aburrá – Página web institucional. [Revisada en: 10 Sept 2017]. http://www.metropol.gov.co/institucional/Paginas/municipios.aspx

Arroyave MDP, Gómez C, Gutiérrez ME, Múnera DP, Zapata PA, Vergara IC, Andrade LM, Ramos KC. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. Rev. EIA Esc. Ing. Antioq. 5:45-57.

Baker PJ, Dowding CV, Molony SE, White PC, Harris S. 2007. Activity patterns of urban red foxes (*Vulpes vulpes*) reduce the risk of traffic-induced mortality. Behav. Ecol. 18(4):716–724. doi: 10.1093/beheco/arm035.

Baxter-Gilbert JH, Riley JL, Neufeld CJH, Litzgus JD, Lesbarrères D. 2015. Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. J. Insect. Conserv. 19(5):1029–1035. doi:10.1007/s10841-015-9808-z.

Bhattacharya M, Primack RB, Gerwein J. 2003. Are roads and railroads barriers to bumblebee movement in a temperate suburban conservation area? Biol. Conserv. 109(1):37–45. doi:10.1016/S0006-3207(02)00130-1.

Benítez-López A, Alkemade R, Verweij PA. 2010. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. Biol. Conserv. 143(2):1307–1316. doi:10.1016/j.biocon.2010.02.009.

BirdLife International. c2016a. *Turdus ignobilis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T103890779A94183492.. [Revisada en: 10 Oct 2017]. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T103890779A94183492.en

BirdLife International. c2016b. *Zenaida auriculata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22690747A93286407. [Revisada en: 10 Oct 2017]. http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22690747A93286407.en

Calhoun JV. 2004. Massing of *Urania fulgens* at lights in Belize (Lepidoptera: Uraniidae). Trop. Lepid. Res. 12(1–2):43–44.

Case RM. 1978. Interstate highway road-killed animals: a data source for biologists. Wildl. Soc. Bull. 6(1):8–13.

Castillo-R JC, Urmendez-M D, Zambrano-G G. 2015. Mortalidad de fauna por atropello vehicular en un sector de la vía panamericana entre Popayán y Patía. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. 19(2):207–219.

D'Amico M, Román J, De los Reyes L, Revilla E. 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: who, when and where. Biol. Conserv. 191:234–242. doi: 10.1016/j.biocon.2015.06.010.

Delgado-V CA. 2007a. Muerte de mamíferos por vehículos en la vía del Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. Actu. Biol. 29(87):229–233.

Delgado-V CA. 2007b. La dieta del Currucutú *Megascops choliba* (Strigidae) en la ciudad de Medellín, Colombia. Boletín SAO 17(2):114–117.

Delgado-V CA, Correa-H JC. 2013. Estudios ornitológicos urbanos en Colombia: una revisión. ing. cienc. 9(18):216–237.

Delgado-V CA. 2014. Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobero, Envigado (Antioquia), Colombia. ver. EIA Esc. Ing. Antioq. 11(22):147–153. doi: 10.14508/reia.2014.11.22.147-153.

De La Ossa-V J, Galván-Guevara S. 2015. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo–ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. Biota Colomb. 16(1):67–77.

De La Ossa-V J, De La Ossa-Nadjar O, Medina-Bohórquez E. 2015. Atropellamiento de fauna silvestre. Rev. Colombiana cienc. Anim. 7(1):109–116.

Didham RK, Ghazoul J, Stork NE, Davis AJ. 1996. Insects in fragmented forests: a functional approach. Trends Ecol. Evol. 11(6):255–260.

[ESRI] Environmental Systems Research Institute. 2013. ArcGIS 10.1.1. California, USA: Environmental Systems Research Institute.

Fahrig L, Pedlar JH, Pope SE, Taylor PD, Wegner JF. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. Biol. Conserv. 73:177–182

Forman RT, Alexander LE. 1998. Roads and their major ecological effects. Annu. Rev. Ecol. Syst. 29(1):207–231.

Forman RT, Sperling D, Bissonette JA, Clevenger AP, Cutshall CD, Dale VH, Fahrig L, France R, Goldman CR, Heanue K, Jones JA, Swanson FJ, Turrentine T, Winter TC. 2003. Road Ecology: Science and Solutions. Washington D.C.: Island Press.

Goosem M. 2007. Fragmentation impacts caused by roads through rainforests. Curr. Sci. 93(11):1587–1595.

Gunther K, Biel MJ, Robison HL. 2001. Influence of vehicle speed and vegetation cover-type on road-killed wildlife in Yellowstone National Park. Wildlife and highways: seeking solutions to an ecological and socio-economic dilemma. Nashville: 7th Annual Meeting of the Wildlife Society. p. 42–51.

Huijser MP, McGowen PT. 2010. Reducing wildlife-vehicle collisions. En: Beckmann JP, Clevenger AP, Huijser MP, Hilty JA, editores. Safe passage: Highways, wildlife, and habitat connectivity. Washington DC: Island Press. p. 51–74.

[IUCN] International Union for Conservation of Nature. c2016. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016-2. >. [Revisada en: 30 Nov 2016]. http://www.iucnredlist.org/

Laurance WF, Goosem M, Laurance SG. 2009. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. Trends Ecol. Evol. 24(12):659–669. doi: 10.1016/j.tree.2009.06.009.

Meyer E. 2006. Assessing the effectiveness of deer warning signs (No. K-TRAN: KU-03-6). Kansas, USA: Kansas Department of Transportation.

Monroy MC, De La Ossa-Lacayo A, De La Ossa-V J. 2015. Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre–María la baja, Caribe Colombiano. Rev. Asoc. Col. Cienc. Biol. 27:88–95.

Murray MH, St. Clair CC. 2015. Individual flexibility in nocturnal activity reduces risk of road mortality for an urban carnivore. *Behav. Ecol.* 26(6):1520–1527. doi: 10.1093/beheco/arv102.

Omena-Junior R, Lima JP, Santos ALW, Aride, PHR. 2012. Caracterização da fauna de vertebrados atropelada na rodovia BR 174, Amazonas, Brasil. Rev. Colombiana cienc. Anim. 4(2):291–307.

Pojar TM, Prosence RA, Reed DF, Woodard TN. 1975. Effectiveness of a lighted, animated deer crossing sign. J. Wildl. Manag. 39:87–91.

Puc-Sánchez JI, Delgado-Trejo C, Mendoza-Ramírez E, Suazo-Ortuño I. 2013. Las carreteras como una fuente de mortalidad de fauna silvestre en México. CONABIO Biodiversitas 11:12–16.

Quintero-Ángel A, Osorio-Dominguez D, Vargas-Salinas F, Saavedra-Rodríguez CA. 2012. Roadkill rate of snakes in a disturbed landscape of Central Andes of Colombia. Herpetol. Notes 5:99–105.

Quinn M. c2017. História natural de *Urania*. Principalmente *Urania fulgens* Walker, 1854. [Revisada en: 12 Oct 2017]. http://texasento.net/Urania.html

Riley SP, Brown JL, Sikich JA, Schoonmaker CM, Boydston EE. 2014. Wildlife Friendly Roads: The Impacts of Roads on Wildlife in Urban Areas and Potential Remedies. En: McCleery R, Moorman C, Peterson M, editores. Urban Wildlife Conservation. Boston, MA: Springer. p. 323–360. doi: 10.1007/978-1-4899-7500-3_15.

Santiago-Alarcón D, Delgado-V CA. 2017. Warning! Urban threats for birds in Latin America. En: MacGregor-Fors I, Escobar-Ibañez JF, editores. Avian Ecology in Latin American Cityscapes. Switzerland: Springer. p. 125–142. doi:10.1007/978-3-319-63475-3_7.

van der Grift EA, van der Ree R, Fahrig L, Findlay S, Houlahan J, Jaeger JAG, Klar N, Madriñan LF, Olson L. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. Biodivers. Conserv. 22(2):425–448. doi:10.1007/s10531-012-0421-0.

van Langevelde F, van Dooremalen C, Jaarsma CF. 2009. Traffic mortality and the role of minor roads. J. Environ. Manag. 90(1):660–667.

van der Ree R. 2009. The ecology of roads in urban and urbanizing landscapes. En: McDonnell MJ, Hahs AK and Breuste JH, editores. Ecology of cities and Towns: A Comparative Approach. Cambridge: University Press. p. 185–196.

Vargas-Salinas F, Delgado-Ospina I, López-Aranda F. 2011. Mortalidad por atropello vehicular y distribución de anfibios y reptiles en un bosque subandino en el occidente de Colombia. Caldasia 33(1):121–138.

Vargas-Salinas F, López-Aranda F. 2012. ¿Las carreteras pueden restringir el movimiento de pequeños mamíferos en bosques andinos de Colombia? Estudio de caso en el bosque de Yotoco, Valle del Cauca. Caldasia 34(2):409–420.

Recibido: 25/10/2017
Aceptado: 05/09/2018